

ANALISIS LAJU SEDIMENTASI PADA HULU SUNGAI TOGURARA KOTA TERNATE

Marlina Kamis^{1*}, Yudit Agus Priambodo¹

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Maluku Utara

*marlinakamis@gmail.com

Abstrak: Bencana sedimen merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di daerah aliran Sungai Togurara Kota Ternate khususnya di daerah hulu dan hilir sungai. Salah satu penyebab banjir di Sungai Togurara adalah debit aliran yang besar dan kapasitas tampung sungai berkurang akibat adanya erosi/sedimentasi. Kondisi struktur Sabodam sta. 2+600 sudah mengalami patah dan kerusakan pada apron, yang disebabkan terjadinya pergeseran dimana tumpukan sedimen yang mengendap tidak kunjung dikeruk sehingga mempengaruhi laju aliran sedimen di hulu Sungai Togurara. Oleh karena itu perlu mengkaji besaran laju angkutan sedimen yang terjadi. Analisis angkutan sedimen dasar dan sedimen melayang yang tertampung pada Sabodam Sta. 02+600 hulu Sungai Togurara menggunakan rumus-rumus empiris yaitu metode Meyer-Petter Muller (MPM). Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mendapatkan besaran angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan sedimen melayang (*suspended load*) yang tertampung pada Sabodam sta. 02+600 hulu Sungai Togurara. Hasil analisis diperoleh hasil laju sedimen melayang (*suspended load*) sebesar 0.403 ton/hari atau 147.197 ton/tahun dan laju sedimen dasar (*bed load*) sebesar 8.28 ton/hari atau 3023.25 ton/tahun. Namun sungai Togurara termasuk jenis sungai Ephemeral. Jika dihitung angkutan sedimen perharinya adalah 5.044 m³/hari. Nilai ini dapat dijadikan pertimbangan volume sedimentasi dikalikan jumlah hujan pertahun yang menyebabkan limpasan air di sungai.

Kata kunci: angkutan sedimen, sedimen dasar, sedimen melayang, sungai Togurara.

I. PENDAHULUAN

Sungai merupakan saluran terbuka yang terbentuk secara alamiah di atas permukaan bumi dimana air mengalir dengan muka air bebas. Setiap sungai memiliki karakteristik dan bentuk yang berbeda antara satu dengan yang lainnya, hal ini disebabkan oleh banyak faktor diantaranya topografi, iklim, maupun segala gejala alam dalam proses pembentukannya. Sungai yang menjadi salah satu sumber air, tidak hanya menampung air tetapi juga mengalirkannya dari bagian hulu ke bagian hilir [1].

Pada siklus hidrologi menggambarkan fenomena alam yang menghubungkan erosi, sedimentasi dan limpasan. Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air. Proses erosi terdiri atas tiga bagian yang berurutan: pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*sedimentation*) [2]. Terjadinya erosi tergantung dari beberapa faktor yaitu karakteristik hujan, kemiringan lereng, tanaman penutup dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal, dampak dari erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi di sungai sehingga dapat mengurangi daya tampung sungai, dengan berkurangnya daya tampung sungai apabila ada aliran air yang cukup besar akan menyebabkan banjir.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sedimentasi adalah jumlah dan intensitas hujan, formasi geologi dan tanah, tata guna lahan, erosi di bagian hulu, dan topografi [3]. Perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan lahan memicu adanya erosi tanah yang dipercepat [4]. Selain itu, tekanan lahan tersebut juga menyebabkan bencana alam terkait kerusakan lingkungan DAS seperti banjir dan tanah longsor [5][6].

Di daerah-daerah tropis yang lembab seperti di Indonesia, maka air merupakan penyebab utama terjadinya erosi, Erosi tanah yang di sebabkan oleh air meliputi 3 tahap [7] yaitu: Tahap pelepasan partikel tunggal dari massa tanah; Tahap pengangkutan oleh media yang tererosi seperti aliran air dan angin; Tahap pengendapan, pada kondisi dimana energi yang tersedia tidak cukup lagi untuk mengangkut partikal.

Berdasarkan ukuran butirnya, angkutan sedimen di sungai dapat dibedakan menjadi angkutan sedimen dasar, angkutan sedimen melayang, dan angkutan sedimen bilas/kikisan. Menurut [8] bahwa muatan sedimen dasar merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak pada dasar sungai secara keseluruhan.

Sabodam sta. 02+600 merupakan salah satu bangunan Sabodam yang pembangunannya selesai pada tahun 2015 yang letaknya di hulu Sungai Togurara yang terletak di Kelurahan Tubo, Kecamatan Kota Ternate Utara, Kota Ternate. Bangunan sabo ini memiliki fungsi utama agar mampu mengantisipasi terjadinya erosi lateral dan tingginya aliran debris yang terjadi. Ada tipe struktur yang dibangun, yaitu kombinasi antara tipe beton,. Tipe ini dipilih untuk menghadapi gerakan sedimen yang kuat di bagian hulu [9]. Berdasarkan hasil peninjauan di lapangan kondisi struktur Sabodam sta. 2+600 sudah mengalami patah dan kerusakan pada apron, yang disebabkan terjadinya pergeseran dimana tumpukan sedimen yang mengendap pada Sabodam tidak kunjung dikeruk sehingga mempengaruhi laju aliran sedimen di hulu Sungai Togurara.

Dengan adanya fenomena alam tersebut, perlu analisis besaran laju angkutan sedimen yang terjadi pada Sabodam sta. 02+600 di hulu Sungai Togurara yang hasilnya dapat dijadikan pertimbangan kapan pengerukan sedimen dilakukan agar tidak terjadi penumpukan yang mengakibatkan pendangkalan sungai.



Gambar 1. Kondisi Sabodam sta. 02+600 yang penuh dengan material sedimen

Pada penelitian ini analisis angkutan sedimen dasar dan sedimen melayang yang tertampung pada Sabodam Sta. 02+600 hulu Sungai Togurara menggunakan metode Meyer-Petter Muller (MPM). Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mendapatkan besaran angkutan sedimen dasar (*Bed load*) dan sedimen melayang (*Suspended load*) yang tertampung pada Sabodam tersebut.

II. METODOLOGI

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan cara mencari keterangan yang bersifat primer dengan melakukan pengukuran muatan sedimen pada Sabodam sta. 02+600 hulu Sungai Tugurara dan data sekunder yang diperoleh dari BWS Maluku Utara dan BMKG Kelas I Sultan Babullah, Kota Ternate. Adapun data-data yang diperlukan pada analisis data angkutan sedimen adalah sebagai berikut :

1. Kemiringan dasar sungai, kedalaman aliran, dan berat volume air.
2. Kecepatan aliran (V) sungai yang ditinjau.
3. Debit aliran (Q) air sungai pada lokasi yang ditinjau.
4. Sampel sedimen melayang (*suspended load*)
5. Sampel sedimen dasar (*bed load*).

Persamaan menghitung kapasitas *Bed Load* dan *Suspended Load* menggunakan rumus Meyer-Peter dan Muller (MPM) yang diperoleh secara empirik, dianggap cukup baik untuk memprediksi angkutan sedimen di sungai, karena range data yang digunakan sangat besar. Dikembangkan untuk sedimen seragam dan tidak seragam, serta memperhitungkan adanya faktor gesek yang disebabkan oleh pengaruh bentuk gelombang (*form roughness*) dan pengaruh ukuran butiran (*grain roughness*).

Persamaan menghitung kapasitas *Bed Load* dan *Suspended Load* :

A. Muatan Sedimen Melayang (*Suspended Load*)

Besarnya beban layang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_s = 0.0864 * C * Q_w \quad (1)$$

Dimana :

Q_s = Muatan sedimen melayang (ton/hari)

C = Konsentrasi sedimen rata-rata (mg/l)

Q_w = Debit sungai (m^3/dtk)

Konsentrasi sedimen (C_s) adalah banyaknya sedimen yang tersuspensi dalam volume air tertentu. Pengukuran dilakukan dengan cara mengambil sampel/ccontoh air dan membawa ke laboratorium untuk dapat diketahui konsentrasi sedimen dalam satuan ppm (*part per million*) atau mg/liter [10]. Perhitungan konsentrasi sedimen melayang (C_s) menggunakan persamaan berikut ini:

$$C_s = \frac{W_s}{W_{tot}} \quad (2)$$

Dimana :

C_s = Konsentrasi sedimen melayang

W_s = Berat kadar lumpur

W_{tot} = Air+berat kadar lumpur

B. Muatan Sedimen Dasar (*Bed Load*)

$$G = 1.606 * B * \left[3,306 x \left(\frac{Q_B}{Q} \right) x \left(\frac{D_{90}^{1/6}}{n_s} \right)^{3/2} . d . S - 0,627 . D_m \right]^{3/2} \quad (3)$$

Dimana :

G = Beban alas (ton/hari)

B = Lebar sungai (m)

Q_B = Debit yang mengalir di atas beban layang (m^3/dtk)

$$Q_B = \frac{Q}{1 + \frac{2d}{B} \left(\frac{n_w}{n_s} \right)^{3/2}} \quad (4)$$

Q = Debit sungai (m^3/dtk)

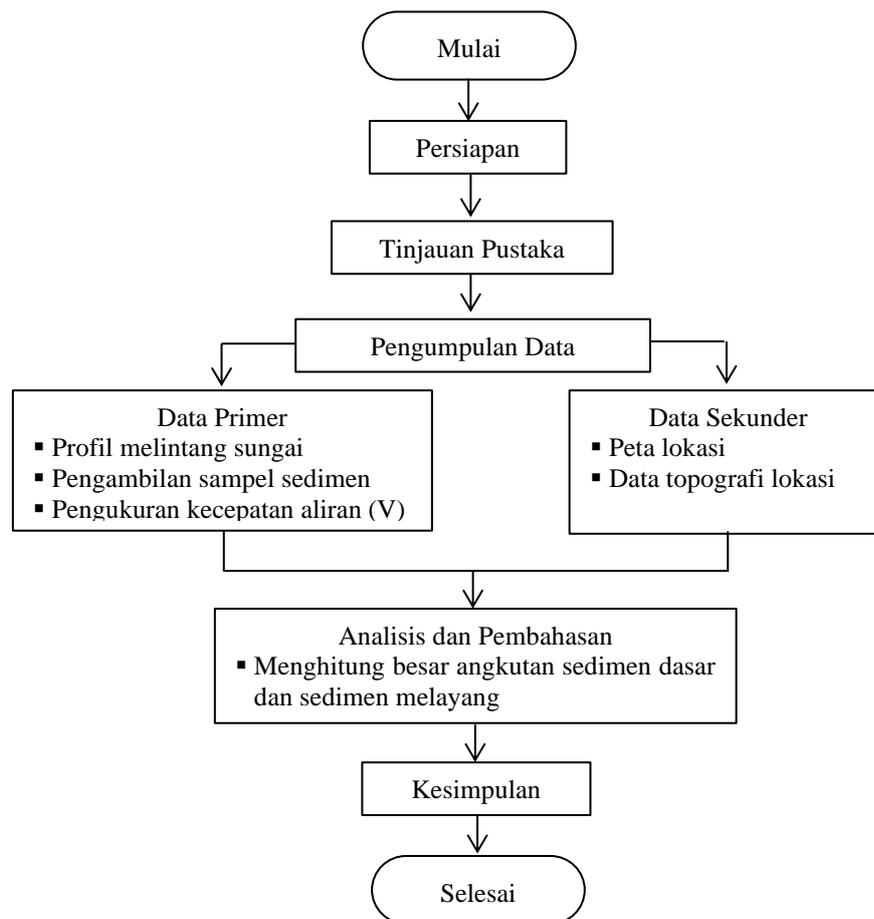
D_{90} = Presentase diameter butiran lolos 90% (mm)

n_s = Koefisien Manning pada dasar sungai

$$n_s = n_m \left[1 + \frac{2d}{B} \left\{ 1 - \left(\frac{n_w}{n_m} \right)^{3/2} \right\} \right]^{2/3} \quad (5)$$

- n_m = Koefisien Manning untuk seluruh bagian sungai
- n_w = Koefisien Manning untuk talud sungai
- D_m = Diameter efektif (diameter rata-rata)
- d = Rata-rata kedalaman air (m)
- S = Kemiringan sungai

Kegiatan laboratorium terdiri dari analisa saringan (*shive analysis*), berat jenis dan berat volume tanah. Analisa saringan dimaksudkan untuk menentukan jenis material sedimen berdasarkan butiran. Dari pengujian ini didapatkan jumlah dan distribusi ukuran sedimen dengan menggunakan saringan yang sesuai dengan standar [11]. Pengujian berat volume dilakukan melalui dua pengujian, yaitu berat volume lepas dan berat volume padat.

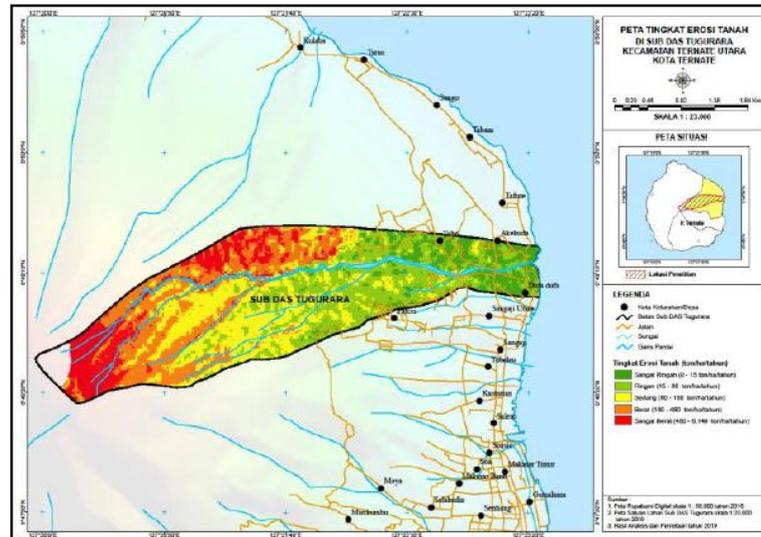


Gambar 2. Bagan alir tahapan penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sungai Tugurara berada disebelah utara Kota Ternate, tepatnya di Kecamatan Ternate Utara, yang dihuni oleh masyarakat di tiga Kelurahan yaitu, Kelurahan Tubo, Kelurahan Akehuda dan Kelurahan Dufa-Dufa dengan letak geografisnya berada pada posisi 00 48' LU dan 1270 19' 30" BT. Sungai Tugurara memiliki kemiringan lereng yang cukup terjal >45% pada hulu sungai hingga ke puncak gunungapi Gamalama dan kemiringan lereng landai pada hilir sungai 0-8% dpl, dapat menyebabkan tingginya kecepatan aliran air limpasan (*runoff*), apabila terjadi hujan. Sub DAS Tugurara merupakan DAS mikro yang terdapat di wilayah DAS Pulau Ternate dengan luas wilayah ± 738,6 ha. Sub DAS Tugurara dominan memiliki topografi miring (15-30%) sampai sangat curam (>65%) dengan berbagai variasi penggunaan

lahan. Penggunaan lahan di Sub DAS Tugurara hasil pemetaan tahun 2019 didominasi perkebunan/kebun campuran yaitu seluas 291,5 ha (39,5%). Selain penggunaan lahan perkebunan juga terdapat jenis penggunaan lahan lainnya yaitu permukiman, lahan terbuka (batuan), semak/padang rumput, semak belukar dan hutan sekunder. Variasi penggunaan yang tersebar pada berbagai kondisi topografi di Sub DAS Tugurara mempunyai peranan penting dalam menentukan tingkat erosi tanah [12].



Gambar 3. Peta Sebaran Tingkat Bahaya Erosi Tanah Berbasis Raster di Sub DAS Tugurara Kecamatan Ternate Utara



Gambar 4. Pengambilan sampel sedimen melayang

Kemiringan dinding Sungai Tugurara rata-rata ± 780 sepanjang pengamatan lapangan dengan jarak 2.708 m, dari muara sungai. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan di lapangan hasil pengukuran kecepatan aliran Sungai Tugurara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran Kecepatan Aliran Sungai Tugurara

No.	Bagian Sungai	Panjang Lintasan (m)	Luas Penampang Sungai (A) (m ²)	Kecepatan Aliran Sungai (V) (m/dtk)	Debit Aliran Sungai (Q) = V x A (m ³ /dtk)
1.	Kanan	50	0,30	0,93	0,279
2.	Tengah	50	0,30	0,98	0,294
3.	Kiri	50	0,30	0,90	0,27
	Rata-rata		0,30	0,94	0,28

Hasil pengukuran kecepatan aliran bagian kanan sungai, bagian tengah sungai dan bagian kiri sungai pada musim kemarau dengan panjang lintasan 50 meter dan luas penampang sungai adalah 0,30 m². Kemudian rata-rata kecepatan aliran dari ketiga bagian sungai adalah 0,94 m/s, dan rata-rata debit aliran sungainya dari semua bagian sungai adalah 0,28 m³/s.

1. Perhitungan Angkutan Sedimen Melayang (*Suspended Load*)

Diperoleh data:

Debit *baseflow* sungai (Q) = 0.28 m³/detik

Konsentrasi sedimen rata-rata (C) = 16.67 mg/liter

Berat jenis sedimen = 1.722

Perhitungan :

$$Q_{\text{suspended load}} = 0.0864 \times 16.67 \times 0.28 = 0.403 \text{ ton/hari}$$

$$Q_{\text{suspended load}} = 0.403 \times 365 \text{ hari} = 147.197 \text{ ton/tahun}$$

$$Q_{\text{suspended load}} = 147.197 / 1.722 = 85.48 \text{ m}^3/\text{tahun} \approx 0.234 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Jadi angkutan sedimen melayang (*suspended load*) pada hulu Sungai Tugurara sta. 2+600 adalah sebesar 0.403 ton/hari \approx 147.197 ton/tahun \approx 85.48 m³/tahun.

2. Perkiraan Muatan Sedimen Dasar (*Bed Load*)

Diperoleh data :

Lebar sungai (B) = 10 (m)

Debit yang mengalir di atas beban layang (QB) = 0.279 m³/dtk

Debit sungai (Q) = 0.28 m³/dtk

Prosentase diameter butiran lolos 90 % (D90) = 0.65 mm

Koefisien Manning pada dasar sungai (n_s) = 0.050

Koefisien Manning untuk seluruh bagian sungai (n_m) = 0.050

Koefisien Manning untuk talud sungai (n_w) = 0.025

Diameter efektif (diameter rata-rata) (D_m) = 0.43 mm

Rata-rata kedalaman air (d) = 0.03 m

Kemiringan sungai (S) = 0.115

Berat jenis sedimen = 1.722

Perhitungan :

$$G = 1.606 * 10 * \left(3.306 \left(\frac{0.279}{0.28} \right) * \left(\frac{0.65}{0.05} \right)^{\frac{3}{2}} * 0.03 * 0.115 - 0.627 * 0.43 \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$G = 8.283 \text{ ton/hari}$$

$$G = 8.283 / 1.722 = 4.81 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$G = 3023.25 \text{ ton/tahun}$$

$$G = 3023.25 / 1.722 = 1755.7 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Dengan demikian laju angkutan sedimen dasar (*bed load*) pada hulu Sungai Tugurara sta. 2+600 sebesar 8.283 ton/hari atau 3023.25 ton/tahun.

Jadi rekapitulasi laju sedimentasi pada hulu Sungai Tugurara sta. 2+600 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Laju Sedimentasi Tahunan

Inlet	Satuan	<i>Suspended Load</i>	<i>Bed Load</i>	<i>Suspended Load</i>
				+ <i>Bed Load</i>
Sta.	ton/tahun	147.197	3023.25	3170.447
2+600	m ³ /tahun	85.48	1755.7	1841.18

Berdasarkan perhitungan angkutan sedimen dengan menggunakan metode Meyer-Peter dan Muller (MPM) maka angkutan sedimen di hulu Sungai Tugurara sta. 2+600 tergolong tinggi, yaitu sebesar 3170.447 ton/tahun. Hal ini dikarenakan kondisi tata guna lahan yang didominasi hutan dan perkebun sudah mulai tergerus akibat sering terjadi longsor. Sedangkan yang mengakibatkan Sabo penuh adalah sedimen akibat lahar / aliran debris seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Jadi nilai 3170.447 ton/tahun terjadi jika terjadi aliran debit yang konstan sepanjang tahun. Sedangkan Sungai Tugurara termasuk jenis sungai Ephemeral, yaitu sungai yang ada airnya hanya pada saat musim hujan karena memiliki kemiringan lereng yang curam dari puncak gunung Gamalama dengan panjang sungai hanya ± 3.5 km langsung ke laut. Jika dihitung angkutan sedimen perharinya adalah $0.234 + 4.81 = 5.044$ m³/hari. Maka nilai angkutan sedimen perharinya dapat dijadikan pertimbangan volume sedimentasi dikalikan jumlah hujan yang menyebabkan limpasan air di sungai.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis maka dapat disimpulkan bahwa sedimentasi dari suatu daerah pengaliran dapat ditentukan dengan pengukuran pengangkutan sedimen pada titik kontrol dari alur sungai, atau dengan menggunakan rumus empiris salah satunya dengan menggunakan metode Meyer Peter Muller (MPM). Hasil laju angkutan sedimen untuk sungai Tugurara pada Sabodam sta. 2+600 diperoleh sedimen melayang (*suspended load*) sebesar 0.403 ton/hari atau 147.197 ton/tahun dan laju sedimen dasar (*bed load*) sebesar 8.28 ton/hari atau 3023,25 ton/tahun. Namun sungai Tugurara termasuk jenis sungai Ephemeral. Jika dihitung angkutan sedimen perharinya adalah $0.234 + 4.81 = 5.044$ m³/hari. Nilai ini dapat dijadikan pertimbangan volume sedimentasi dikalikan jumlah hujan pertahun yang menyebabkan limpasan air di sungai.

REFERENSI

- [1] Humaira, A. M. 2014. "Analisis Hidrolika Bangunan Krib Permeabel Pada Saluran Tanah (Uji Model Laboratorium)", *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol 2, no. 3.
- [2] Asdak, Ch. 2004. "*Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*", Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- [3] Komariah, 2014. "Analisis Sediment Yield Pada Area Waduk Sermo dengan Metode Musle", UMY, Yogyakarta.
- [4] Christanto, N., Hadmoko, D. S., Westen, C. J., Lavigne, F., Sartohadi, J., & Setiawan, M. A. 2009. "Characteristic and Behavior of Rainfall Induced Landslides in Java Island, Indonesia : an Overview", EGU General Assembly, p.4069, 11, 4069.
- [5] Christanto, N., Sartohadi, J., Setiawan, M. A., Hadi, M. ., Jetten, V. G., & Shrestha, D. P. 2017. "Investigating The Effect of Conservation Techniques on the Land Degradation of Tropical Catchment Prone to Landslide", *Jurnal Geografi, UNNES*, 14(2), 1–10.
- [6] Christanto, N., Shrestha, D. P., Jetten, V. G., & Setiawan, A. 2012. "Modeling the effect of terraces on land degradation in tropical upland agricultural area", EGU General Assembly, p.1075, 14, 1075.

- [7] Suripin. 2004. “*Sistem Drainase yang Berkelanjutan*”. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi Offset.
- [8] Soewarno, 2000. “*Hidrologi: Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*”, Bandung, Indonesia: Penerbit Nova.
- [9] Udiana, 2011. “Model Perencanaan Bangunan Sabo Untuk Pengendalian Aliran Debris (Debris Flow)”, *Jurnal Teknik Sipil*, vol 1, no. 1, hal: 28-40.
- [10] Supangat A. (2014). Monev Tata Air DAS “Perhitungan Sedimen” Surakarta. [Online]. Available: [http://www.fordamof.org/files/10Agung Estimasi Sedimen.pdf](http://www.fordamof.org/files/10Agung%20Estimasi%20Sedimen.pdf).
- [11] Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM D 422, 2007.
- [12] Hadun, R., Teapon, A. 2020. “Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi Berbasis Raster Di Sub DAS Tugurara Kecamatan Ternate Utara”, *PSGRJ*, Vol. 2 No. 1, hal. 1 – 6.